

Vision System을 이용한 사출제품의 길이 측정용 시각검사 System 개발

김재열*, 오보석**, 유신***

The Development of Visual Inspection for Length Measurement of Injection Product Using Vision System

Kim Jae-Yeol*, Oh Bo-Suk**, You Sin***

ABSTRACT

In this study, We made visual inspection system using Vision Board. It is consist of an illuminator (a fluorescent lamp), image input device(CCD(Charge-Coupled Device) camera), image processing system(Vision Board(FARAMVB-02)), image output device(video monitor, printer), and a measuring instrument(TELMN1000).

Length measurement by visual inspection system make use of 100mm gauge block(instead of calculating distance between a camera and a object). It measured horizontal and vertical length factor from 400mm to 650mm by increasing 50mm.

In this place, measured horizontal and vertical length factor made use of length measurement of a injection. A measuring instrument used to compare a measured length of a injection visual inspection system with it.

In conclusion, length measurement of a injection compared a measuring instrument with visual inspecion system using length factor of 100mm gauge block. We find that maximum error of length is 0.55mm when it compar with the measuring value of two devices(FARAMVB-02, TELMN1000). Program of visual inspection system is made up Borland C++ 3.1.

Key Words: Visual inspection system(시각 검사 시스템), Smoothing(평활화), Binarization(이치화), Boundary(경계선), Original image(원화상), Quantization(양자화)

* 조선대학교 공과대학 정밀기계공학과 수송기계 부품 공장자동화 연구센터
 ** 조선대학교 공과대학 기계설계공학과 대학원
 *** 조선대학교 공과대학 기계공학과 대학원

1. 서 론

본 연구에서는 비전보드(Vision Board)를 이용하여 사출제품의 길이측정에 사용하여 복잡한 사출제품의 길이를 검사하여 사용자로 하여금 측정된 길이를 보고 불량품을 판별할수 있도록 하고자 한다. 길이검사 방법에는 먼저 물체의 이치화를 위해 히스토그램을 구한 후, 문턱값을 결정한다. 문턱값 결정후 물체를 이치화 시키고 잡음(고주파 성분)을 제거하기 위해 평활화 처리를 하고 물체의 윤곽선 추출을 통해 사출제품의 길이를 측정할수 있도록 한다. 길이측정에는 실제 제품과 카메라 화상의 비율측정을 위해 물체와 카메라의 거리 및 소자의 분해능을 기초로 한 이론적 계산값에 기초하나 카메라와 물체사이의 거리를 정밀하게 측정하기 어렵기 때문에 본 논문에서는 새로운 방법을 제안하고자 한다. 즉 기준시편을 사용한 실제 길이와 화상의 길이비율을 이용, 실제 운용 프로그램에 적용하여 사출제품의 길이측정에 사용하고 시각검사시스템의 성능을 평가하고 그 문제점을 고려한다. 또한 구성된 시각검사시스템의 길이검사에 대해 타제품에의 응용도 고려한다.

2. 본 론

2.1 화상처리의 이론적 배경

2.1.1. 디지털화상

일반적으로 화상정보를 처리한다함은 화상의 취득(Acquisition), 출력(Display), 통신(Communication), 압축(Coding), 복원(Decoding), 화질향상(Enhancement), 물체인식(Object Recognition) 및 검사 등 다양한 분야를 지칭하지만 비전시스템에서의 화상처리는 물체 또는 형상 인식(Pattern Recognition), 검사에 국한된다.⁽¹⁾

화상을 컴퓨터로 처리하기 위해서는 화상 자체가 컴퓨터로 이해될 수 있는 형태로 되어야 한다. 컴퓨터는 디지털 형태이기 때문에 화상도 디지털 형태로 변환할 필요가 있다. 일반적으로 화상은 Fig. 1에서 보여진 것처럼 평면 좌표에 대한 연속함수로하여 표현할 수 있다. $f(x,y)$ 는 점 (x,y) 에서의 상의 강도(휘도 : Intensity), 농담의 정도(농도 : Density)가 된다.⁽²⁾

디지털 화상을 얻으려면 이 3가지 양, 즉 $x, y, f(x,y)$ 를 전부 디지털양으로 나타내면 된다. 화상을 디지털방식으로 표현하는 방법은 화면상에 적당한 간격의 가상의적인 정

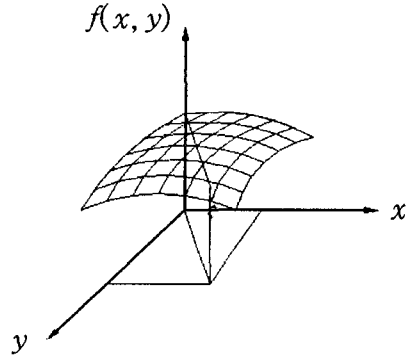


Fig. 1 Expression of a general image

방격자를 놓고 그 격자점상의 농도치를 개별적인 값으로 취하고 근사시킨다.⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾ 이 근사조작을 농도치의 양자화(Quantization)라고 하고 이 결과에서 얻어지는 화상은 이산적인 좌표점 (x,y) , 즉 화소(Pixel)라 하고 이산적인 농도치 f_{xy} 와 함께 디지털 화상을 이룬다. 디지털 화상중에서도 농도치를 2개만 갖는 것을 디지털 2치화상이라 하고 그 이상의 농도치를 갖는 화상을 농담화상이라 한다.⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾

2.1.2. 기본적인 화상처리

①. 2치화

농담화상, 칼라화상등의 다치화상으로부터 2치화상을 얻는 처리를 2치화라 한다. 2치화는 화상내의 대상을 배경으로부터 분단한 대표적인 처리이고 2치화는 화상의 영역분할의 일종이다. 화상의 2치화를 목적으로 하는 가장 간단한 형식의 문턱값 결정처리는 농담화상 $f(x,y)$, 문턱값 t 에 관계하고 관계식은 식(1)로 표현된다.

$$f_i(x,y) = \begin{cases} 1 & ; f(x,y) \geq t \text{ 일때} \\ 0 & ; f(x,y) < t \text{ 일때} \end{cases} \quad (1)$$

처리결과 $f_i(x,y)$ 는 0, 1의 2치화상으로 된다. Fig. 2는 농담화상에서 2치화상으로의 변화를 보여준다.

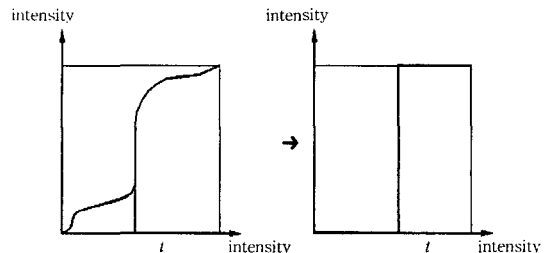


Fig. 2 Thresholding at gray level intensity(t)

문턱값 결정에 있어 대상물을 바르게 추출하는 것은 문턱값 t 의 결정이 중요하다. 문턱값의 결정방법에는 화상의 대표적인 특징을 이용하는 것이 많다. 그 대표적인 것이 농도 히스토그램이다. 농도히스토그램을 이용한 방법에는 P-tile법, Mode법, 판별문턱값선정방법등이 있고 문턱값 처리는 대상물 및 배경의 농도치를 인지하는 경우에는 경험적으로 지정한 문턱값을 사용할 수 있다. Fig. 3은 히스토그램의 일반적인 경우를 나타낸다.

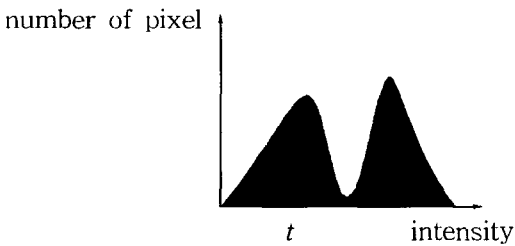


Fig. 3 Example of histogram

본 연구에서는 가장 직감적으로 생각할 수 있고 잘 사용되어지는 히스토그램의 굴곡을 보이는 곳을 문턱값으로 하는 Mode법을 사용한다. ⁽²²⁾⁽²³⁾⁽²⁴⁾⁽²⁵⁾

②. 평활화

2차화된 화상은 잡음(Noise)를 많이 포함하고 있다. 평활화 처리는 영상에서 고주파 성분(Noise)을 감소시키고 저주파 성분을 보존시키는 역할을 한다. 평활화 처리는 보통 필터를 이용한 처리가 주로 이용되고 있다. 이러한 필터를 마스크(Mask)라고도 하고 3×3, 5×5, 7×7 등의 크기를 갖는다. 평활화 처리에는 Lowpass filter, Median filter 등을 이용하고 있다. Fig. 4는 일반적인 3×3 Mask를 보여준다. ⁽¹⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾

공간영역의 기본적인 식은 식(2)로 표현된다.

$$g(x, y) = h(x, y) * f(x, y) \quad (2)$$

w ₁	w ₂	w ₃
w ₄	w ₅	w ₆
w ₇	w ₈	w ₉

Fig. 4 A 3×3 mask with arbitrary coefficients (weights)

$f(x, y)$ 는 원화상을 나타내고 $g(x, y)$ 는 합성에 의해 변환된 화상을 나타내고 $h(x, y)$ 는 position invariant operator이다. 식(2)는 식(3)이 되고

$$h * f(x, y) = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} h(i, j) \cdot f(x-i)(y-j) \quad (3)$$

식(2)은 다음 식(4)에 의해

$$h(t) = (f * g)(t) = \int_0^t f(t) \cdot g(t - \tau) d\tau \quad (4)$$

식(5)로 표현된다.

$$G(u, v) = H(u, v) \cdot F(u, v) \quad (5)$$

여기에서 $F(u, v)$ 는 평활화하기 위한 Fourier 변환이고, $H(u, v)$ 는 Filter 변환 함수이다.

본 연구에서는 평활화 필터중에서 Lowpass filter의 첨예도를 잃는 결점을 보완한 Mexican hat filter를 사용하였다. Fig. 5는 Mexican hat filter를 나타낸다. ⁽¹³⁾⁽¹⁹⁾⁽⁴⁾⁽⁶⁾

1	2	1
2	4	2
1	2	1

Fig. 5 3×3 Mexican Hat Filter

③. 경계선 추출

경계선 추출은 화상의 경계부분만 남고 나머지 성분은 제거되는 것을 말하고

어떤점에서의 first order derivative는 그점에서의 Gradient 크기를 나타내고 어떤점에서의 second order derivative는 Laplacian을 의미한다. 함수 $f(x, y)$ 에 대해 좌표 (x, y) 에서 f 의 Gradient는 식 (6)으로 표현된다.

$$\nabla f = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (6)$$

에지검출에서는 일반적으로 이 벡터의 크기를 사용한다. 이 벡터의 크기는 ∇f 로 나타내고 Gradient라 한다.

식(7)은 이것을 나타낸다.

$$\nabla f = |\nabla f| = (G_x^2 + G_y^2)^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

이것은 ∇f 의 방향에서 단위거리당 ∇f 의 증가의 최대 비와 같고 식(8)로 표현할수 있다.

$$\nabla f \approx |G_x| + |G_y| \quad (8)$$

2차원 함수 $f(x,y)$ 의 Laplacian은 second order derivative로 식(9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \quad (9)$$

Laplacian의 일반적인 응용은 영교차점(Zero-crossings property)을 이용하여 에지의 위치를 찾는 것이다. 이것은 2차 Gaussian 함수의 형태를 기초로 하고 식(10)은 2차 Gaussian 함수의 형태를 나타낸다.

$$h(x,y) = \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right) \quad (10)$$

여기에서 σ 는 표준편차를 나타내고 $r^2 = x^2 + y^2$ 이다. 식(10)에서 h 의 Laplacian은 식(9)에 대입하여 식(11)의 결과를 얻는다.

$$\nabla^2 h = \left(\frac{r^2 - \sigma^2}{\sigma^4}\right) \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right) \quad (11)$$

Fig. 6은 derivative operator에 의한 에지검출에 관한 것이다.

본 연구에서는 Fig. 7과 같은 3×3 Laplacian 필터를 사용하였다.

④. 길이계산

구하고자 하는 길이를 계산하기 위해 경계선 추출이된 화상의 점들을 인식하고 그점을 지나는 직선의 방정식을 구한다. 두 직선이 교차하는 새로운 점을 인식하여 그점을 기준으로 구하고자 하는 곳(화소)까지의 거리를 계산한다. 윤곽선 추출이 된 화상에서 임의의 점을 인식하고 그 인식된 두 점 (x_1, y_1) (x_2, y_2) 을 지나는 직선의 방정

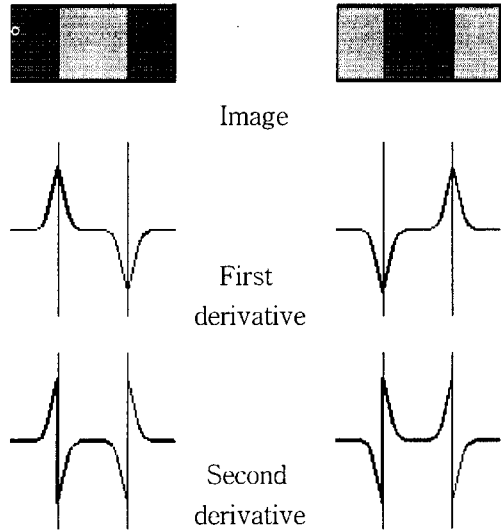


Fig. 6 Edge detection by derivative operators

-1	-1	-1
-1	8	-1
-1	-1	-1

Fig. 7 3×3 Laplacian Filter

식은 아래 식(12)와 같다.

$$y - y_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}(x - x_1) \quad (12)$$

또한 두직선은 한점을 지나게 된다. 한 교차점의 좌표를 인식하고 두점사이의 거리를 구하게 된다. 식(13)은 두점 (x_1, y_1) (x_2, y_2) 사이의 거리를 나타낸다.

$$D = ((x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2)^{\frac{1}{2}} \quad (13)$$

본 연구에서는 위의 계산식들을 이용하여 물체의 화소를 인식, 길이를 계산 하게 된다. Fig. 8에는 길이계산에 사용된 알고리즘을 나타낸다.⁽²⁾⁽³⁾

2.2 실험장치 구성

본 연구에서 사용된 시각검사시스템은 조명장치, 화상 입력장치, 화상처리장치, 출력장치, 측정장치로 구성된다. 조명장치는 형광램프를 이용하여 간단하게 구성한다.

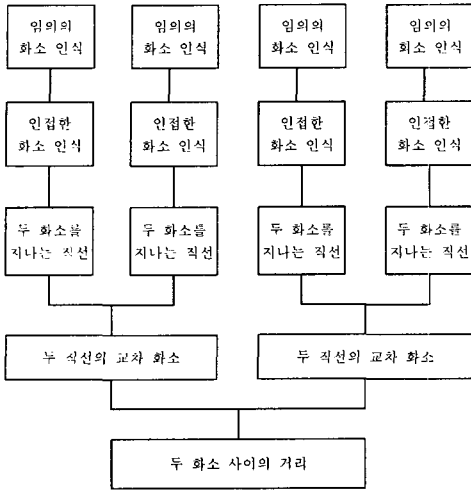


Fig. 8 Algorithm for calculation of a length

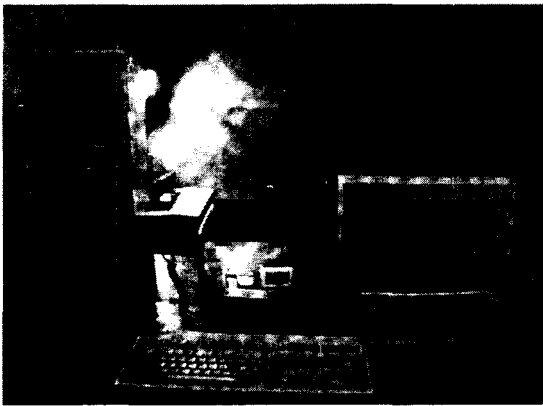


Photo. 1 Visual inspection system

화상입력장치로 Image Sensor인 Mono CCD Camera를 사용하고 화상처리장치는 삼성전자의 흑백화상처리보드인 FARA MVB-02를 사용하여 화상입력장치로부터 입력받은 화상을 처리한다. 출력장치는 처리 화상을 출력해주는 Video Monitor와 운용 프로그램을 처리해주는 CRT Monitor, 화상의 하드카피를 위해 LaserJet 4 프린터를 사용하였다. 또한 측정장치로는 분해능이 1 μ m이고 측정범위가 1,050mm인 TRIMOS사의 길이측정기(TELMN1000)를 사용하여 검사대상물체의 길이를 측정하였다. Photo. 1은 시각검사시스템의 구성을 보여준다.

2.3 실험 내용

Fig. 9은 시각검사 시스템의 개략도를 나타내고 있다.

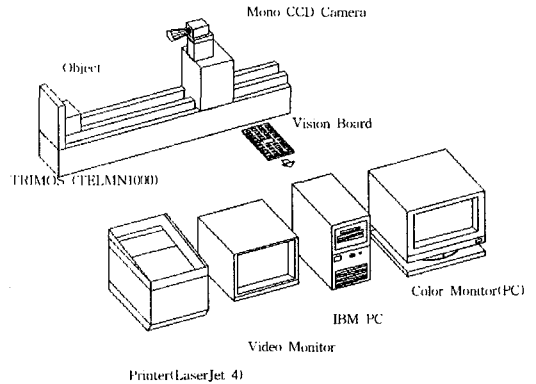


Fig. 9 Construction of visual inspection system

본 연구에서는 사출제품의 길이측정을 위해 카메라로부터 사출제품의 화상을 취득한다. 2치화 화상을 얻기 위해 문턱값 결정을 해야 한다. 문턱값 결정을 위해 화상의 히스토그램을 얻고 히스토그램을 얻은 다음 Mode법⁽⁷⁾⁽⁸⁾⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾을 이용하여 문턱값을 결정한다. 화상의 문턱값이 결정되면 이 문턱값에 의해 화상을 2치화 시키고 2치화 된 화상은 3 \times 3 Mexican Hat Filter⁽¹⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾를 사용하여 평활화 처리를 한다. 고주파성분(잡음)이 제거된 화상은 Laplacian Filter⁽¹⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽¹³⁾를 통해 사출제품의 윤곽선 추출이 행해진다. 윤곽선 추출이 행해진 화상은 기준시편을 이용한 실제사출제품과 화상의 길이비율을 측정한다. 실제 검사에는 기준시편을 사용한 길이비율을 측정

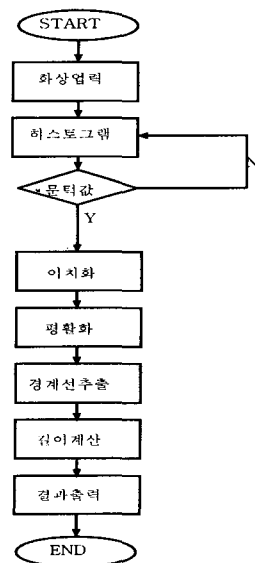


Fig. 10 Flowchart of program

해 카메라와 실제 사출제품과의 거리 오차에서 나타날 수 있는 오차를 배제하고자 한다. 또한 화상취득시 TRI-MCS사의 길이측정기 위에 카메라를 고정, 대상물체와 카메라의 거리를 400mm~650mm까지 50mm씩 변경시키면 더 기준시편을 사용하여 가로 및 세로의 길이비율을 측정하고, 검사물체에 길이비율을 적용시켜 각각의 거리에서 검사물체의 길이를 검사한다. Fig. 10에 본 논문의 실험에 사용된 프로그램의 플로우차트를 나타낸다.

2.2.1 기준시편의 측정

실제 사출제품과 화상에 잡힌 길이는 카메라와 실제 대상물체와의 거리, 카메라의 분해능 등에 의해 서로 다르게 나타난다. 본 연구에서는 카메라 렌즈 중심에서 대상물체까지의 거리측정이 어렵기 때문에 기준시편을 사용하여 화상과 사출제품과의 길이비율을 구해 실제 사출제품의 길이측정에 응용하고자 한다. 기준시편으로는 Mitutoyo사의 게이지 블럭(Gauge block) set 중에서 100mm의 게이지 블럭을 사용하였다. 카메라와 기준시편과의 거리를 400mm ~ 650mm까지 50mm씩 변화시키면서 가로 및 세로의 길이비율을 측정하였다. Photo. 2는 100mm 게이지 블럭이다.

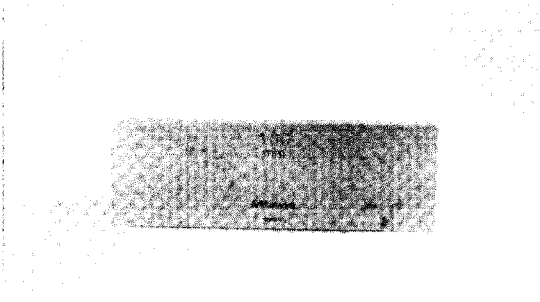


Photo. 2 100mm Gauge block

① 가로 길이비율 측정

경계선 추출까지 처리된 화상으로부터 화상의 농도값이 25% (흰색)인 점을 인식하여 길이계산 프로그램에 의해 게이지 블럭의 길이를 구한다. 여기에서 구한 게이지 블럭의 길이는 화상에서의 길이이므로 실제 게이지 블럭의 길이가 아니다. 때문에 화상의 길이를 게이지 블럭의 길이로 나누어 주면 게이지 블럭과 화상의 비율이 구해지게 된다.

② 세로 길이비율 측정

서로 길이비율의 측정방법은 가로길이비율의 측정방법과 동일하다. Table 2는 길이계산 및 세로 비율측정치의

Table 1 Length factor (horizontal)

Distance Time	400mm	450mm	500mm	550mm	600mm	650mm
1 time	3.13	2.85	2.52	2.32	2.10	1.96
2 time	3.14	2.85	2.52	2.32	2.10	1.97
3 time	3.14	2.85	2.52	2.32	2.10	1.97
4 time	3.14	2.85	2.52	2.32	2.10	1.97
5 time	3.14	2.85	2.52	2.32	2.10	1.97
6 time	3.14	2.85	2.52	2.32	2.10	1.97
7 time	3.14	2.85	2.52	2.32	2.10	1.96
8 time	3.14	2.85	2.52	2.32	2.10	1.97
9 time	3.14	2.84	2.52	2.32	2.10	1.97
10 time	3.14	2.85	2.52	2.32	2.10	1.97
Average	3.139	2.848	2.52	2.32	2.10	1.968

Table 2 Length factor (vertical)

Distance Time	400mm	450mm	500mm	550mm	600mm	650mm
1 time	3.08	2.80	2.45	2.29	2.07	1.89
2 time	3.08	2.80	2.45	2.29	2.07	1.89
3 time	3.08	2.80	2.45	2.29	2.07	1.89
4 time	3.08	2.80	2.45	2.29	2.07	1.89
5 time	3.08	2.80	2.45	2.29	2.07	1.89
6 time	3.08	2.80	2.45	2.28	2.07	1.89
7 time	3.08	2.80	2.45	2.28	2.07	1.89
8 time	3.08	2.80	2.45	2.28	2.07	1.89
9 time	3.08	2.80	2.45	2.28	2.07	1.89
10 time	3.09	2.80	2.45	2.28	2.07	1.89
Average	3.081	2.80	2.45	2.285	2.07	1.89

값을 보여준다. 본 실험에서는 여기에서 구한 가로 및 세로의 길이비율을 이용하여 실제 검사대상물체의 길이검사를 한다.

2.3.2 기준시편의 길이비율을 이용한 길이측정

사출제품의 길이검사를 위해 게이지 블럭 100mm를 기준시편으로 사용한 실험방법과 동일한 실험방법을 통해 실제 사출제품의 길이를 측정하고자 한다. Photo. 3은 사출제품이고 Fig. 11은 카메라에 의한 사출제품의 화상을 나타낸다.

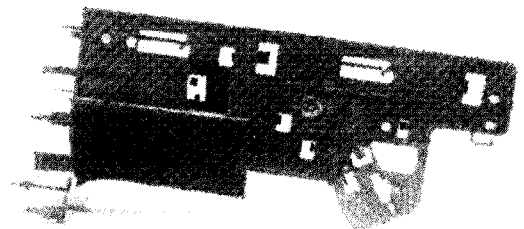


Photo. 3 A injection product

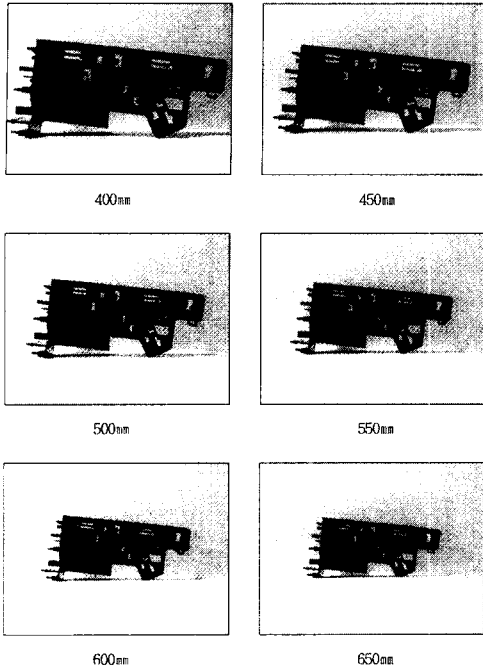


Fig. 11 Image of a injection product

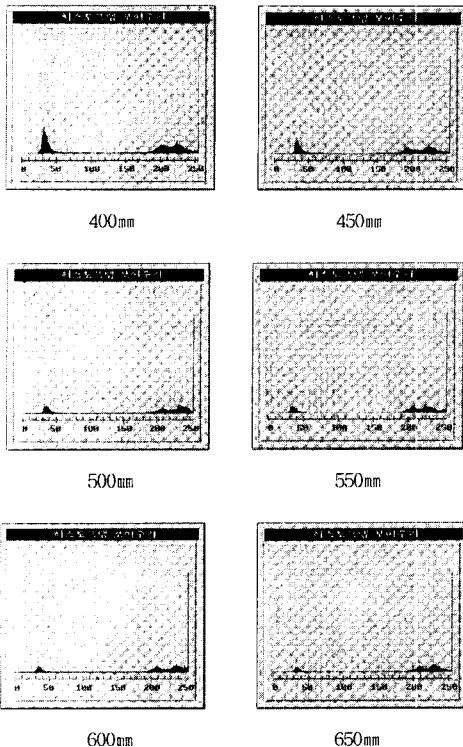


Fig. 12 Histogram of a injection product

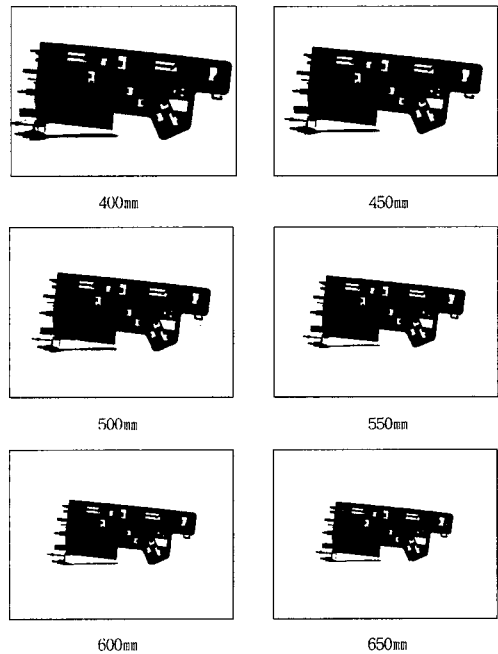
Fig. 12는 사출제품의 히스토그램을 나타낸다.

Fig. 12에서 구한 히스토그램에 의해 문턱값은 각각 140으로 정하고 이 문턱값에 의해 2치화 평활화, 경계선 추출의 화상처리를 한다. Fig. 13에 사출제품의 화상처리를 보여준다.

본 길이검사용 시각검사시스템의 개발에서 기준시편을 사용해 길이비율을 측정해서 가로 및 세로의 길이비율을 실제 검사물체에 적용, 사출제품의 길이검사를 하였다. Table 3은 거리 400mm ~ 650mm까지의 사출제품 5개의 길이검사 결과이다.

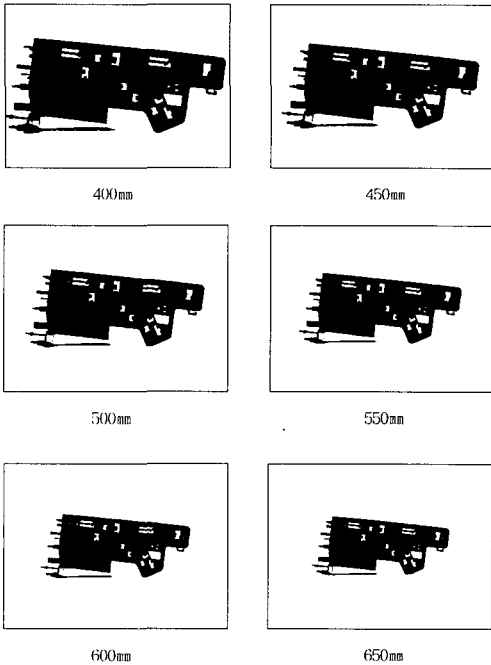
Table 3 Length of a injection product.

Product Distance	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5
400mm	171.0373	170.7210	171.2547	171.2264	171.1454
450mm	170.8534	171.5040	171.3924	171.5005	171.5075
500mm	172.1928	172.0414	172.1918	172.1164	172.2074
550mm	171.8844	171.9270	171.8850	171.9690	171.8934
600mm	170.7806	171.1950	171.2696	170.7760	170.9840
650mm	171.5170	171.5586	171.4533	171.4680	171.1580
Average	171.3376	171.4912	171.5745	171.5094	171.1580

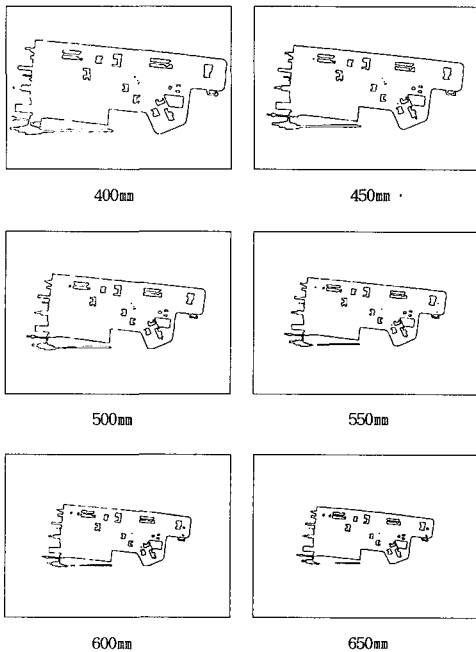


(a) Binarization of a injection product

Fig. 13 Image processing of a injection product



(b) Smoothing of a injection product



(c) Boundary detection of a injection product

Fig. 13 Image processing of a injection product

2.3.3 실험결과 비교

사출제품의 길이측정을 위해 기준시편을 이용하여 가로, 세로 길이비율을 구하였다. Fig. 14은 가로, 세로 길이비율을 거리에 따라 막대그래프로 나타냈다.

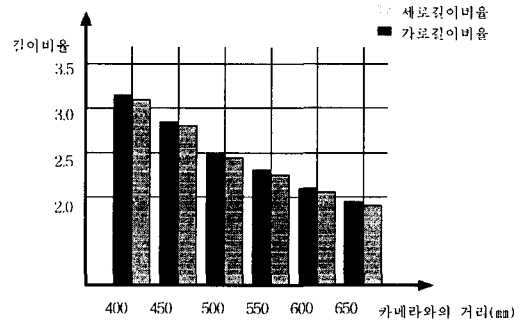


Fig. 14 Length factor of horizontal Vs vertical

Fig. 15에 사출제품을 시각검사시스템과 측정장치에 의한 두 길이값을 비교하였다.

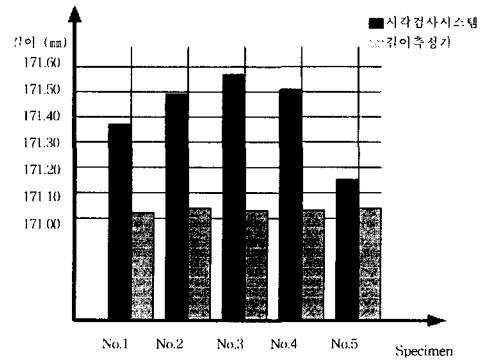


Fig. 15 A comparison of length factor of vision system Vs TELMN1000

3. 결론

디지털 화상처리를 이용하여 사출제품의 길이검사를 실시하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 디지털 화상처리를 이용하여 사출제품의 길이검사에 있어 기준시편을 이용한 길이측정방법을 사용하여 사출제품의 길이검사용 시각검사시스템 개발에 적용하였다.

(2) 본 시각검사시스템은 조명에 둔감한 길이검사용 시각검사시스템으로 카메라의 거리에 따라 달라지는 길이 비율값을 계산하지 않고 기준시편을 이용, 가로 및 세로

의 길이비율값을 구했다.

(3) 디지털 화상처리를 이용한 사출제품의 길이검사용 시각검사시스템을 구축하였고 길이측정기와 시각검사시스템의 최대오차는 0.55mm이며, 시각검사 시스템의 표준편차값은 0.288mm 이다.

(4) 본 논문의 사출제품의 길이검사용 시각검사시스템은 화상처리 라이브러리를 이용하여 C언어로 구성되어 있어 간단한 변환으로 사출제품 뿐만 아니라 타 제품의 길이검사에도 응용할 수 있다.

후 기

이 논문은 한국과학재단 지정 지역협력 연구센터인 조선대학교 수송기계부품 공장자동화 연구센터의 1997년도 석·박사 과정 학위논문 연구비 지원에 의해 연구 되었음.

참 고 문 헌

1. Adrian Low, "Introductory Computer Vision and Image Processing," McGraw-Hill, pp.68~69, pp.88~94, 1991.
2. Craig A. Lindley, "Practical Image Processing in C," John Wiley & Sons, pp.351~421, 1991.
3. Ioannis Pitas, "Digital Image Processing Algorithms," Prentice Hall, pp.223~230, 1993.
4. M. A. Sid-Ahmed, "Image Processing," McGraw-Hill, pp.87~98, 1995.
5. R. C. Gonzalez, R. E. Woods, "Digital Image Processing," Addison-Wesley, pp.162~163, pp.191~195, pp.202~203, pp.413~414, pp.416~423, 1992.
6. R. M. Haralick, L. G. Shapiro, "Computer and Robot Vision I, II," Addison-Wesley, pp.13~15, pp.346~351, 1993.
7. J. M. S. Prewitt, M. L. Mendelsohn, "The analysis of cell image," Ann. N.Y. Acad.

- Sci., 128, pp.1035-1053, 1966.
8. J. S. Weszka, "A survey of threshold selection techniques," CGIP, 7, 2, pp.259-256, 1978.
9. 畫像處理ハンドブック編輯委員會, "畫像處理ハンドブック," 晃堂, pp.62~69, 1988.
10. 安居院, 鈴木, 中嶋, 竹田, "농도윤곽선에 의한 제조화상 기술을 위한 임계값 결정과 그 응용," 화상전자학회지, Vol. 4, No. 3, 1985.
11. 森, 大津, "認識問題としての二値化と各種方法の検討," 정보처리협회연구자료, IP 15-1, 1977.
12. 八田孝夫, "畫象處理システムの市場動向," 電子技術學會誌, 26卷 12號, 1984.
13. 구기준, "화상정보처리," 기문사, pp.38~40, 1993.
14. 이문호, "퍼스컴을 이용한 화상처리," 도서출판 기다리, pp.4~5, 1992.
15. 일본공업기술센터, "컴퓨터화상처리 입문," 기전연구사, pp.214~255, 1993.
16. 편집부, "화상처리 회로기술의 모든 것," 도서출판 세운, pp.190~193, 1992.
17. KETI전자부품종합기술연구소, "PCB패턴의 고속정밀 Vision검사 시스템 개발," 1994 보고서.
18. 고려대학교 자연과학연구소, "제품라벨의 양부판정 및 인식을 위한 비전시스템 개발," 과학기술처, 1993.
19. 공용택, "자동시각검색시스템에서의 정렬정확도 측정방법," 서울대학교 석사, 1993.
20. 이영재, "화상처리를 이용한 가공물의 형상인식," 경희대학교 석사, 1994.
21. 한국과학기술원 시스템공학연구소, "컴퓨터 Vision 및 인공지능기법을 활용한 자동검사 시스템 개발," 과학기술처, 1991.
22. 한국과학기술원 시스템공학연구소, "시각검사자동화 시스템 개발연구," 과학기술처, 1993.
23. 삼성전자 생산기술센터, "FARA MVB-02 사용설명서 I, II."